

はく ちょう おお はし

白鳥大橋主塔基礎における 大深度地中連続壁の施工計画

A CONSTRUCTION PLANNING OF CONTINUOUS
UNDERGROUND DEEP WALL OF HAKUCHO OHASHI

熊谷 勝弘^{*} 多田 浩彦^{**} 能町 純雄^{***}

By Katsuhiro KUMAGAI, Hirohiko TADA and Sumio NOUMACHI

Hakucho Ohashi is a suspension bridge with a center span of 720m and a total length of 1380m. It is under construction in Muroran Harbor, Hokkaido. Since the bed rock for the main tower foundation lies in 73m below the sea level, the continuous underground deep wall was applied for the tower foundations that were accomplished in March, 1991.

This is the first time that this method has been applied for the bridge foundation in the world. Various kinds of studies were carried out prior to the construction.

This paper reports the results of studies and construction with respect to this new method.

1. はじめに

白鳥大橋は、一般国道37号室蘭港に架かる図-1に示す中央径間720m、側径間330m、全長1,380mの側塔付き2ヒンジ補剛箱桁吊橋である。本橋は室蘭港を南北に横断し都市内環状道路網を形成し室蘭市の社会経済の都市機能の発展を図るとともに、北海道縦貫自動車道と連結し圏域の広域化と活性化を目的として計画された。吊橋構造形式の本格的な検討にとりかかったのは1983年からで、1985年に工事に着工し現在は主塔の架設工事が行なわれている。

本橋の特徴は積雪寒冷地に架設される我が国初の長大吊橋であるとともに、主塔基礎の支持層は、図-1に示すようにTP-73m（陣屋側主塔基礎（3P））、TP-57m（祝津側主塔基礎（4P））と非常に深いため、基礎本体を構築する仮設工として大深度地中連続壁を利用し基礎本体を構築する新工法を採用した¹⁾ことである。

本論文では、地中連続壁としてはTP-103mと橋梁基礎では他に例を見ない大深度掘削施工となった陣屋側主塔基礎（以下「3P」という）を主として、未經験^{2), 3)}の施工に對し着工前の調査検討時に行った施工計画、試験施工及び主な施工結果について述べるものである。図-2に3P主塔基礎一般図を示す。

* 工修 北海道開発局 建設部 道路建設課長 (〒060 札幌市北区北8条西2丁目1-1)

** 工博 三菱建設株式会社 (〒103 東京都中央区日本橋本町3丁目3-6)

*** 工博 北海道大学名誉教授 (〒275 習志野市香澄町1丁目2-1)

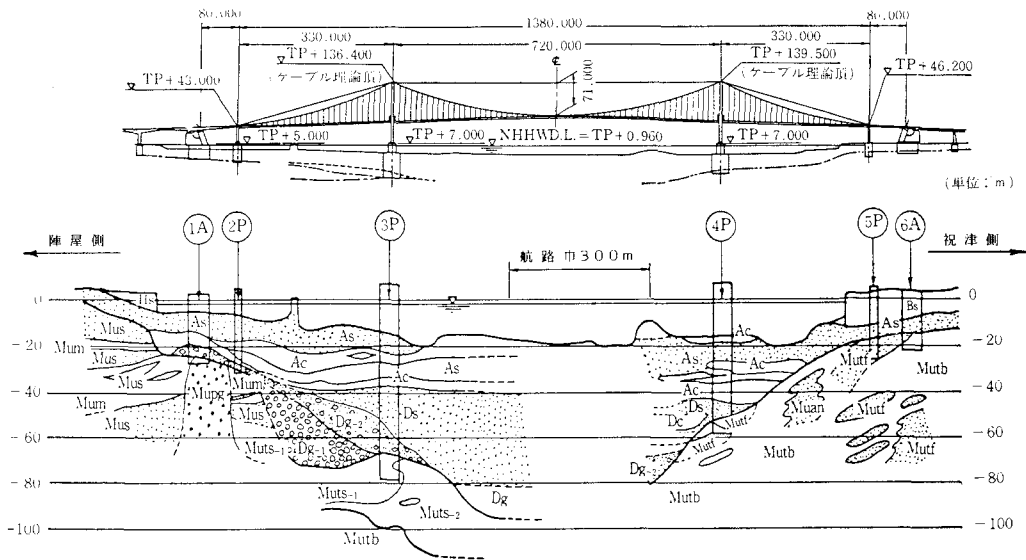


図-1 白鳥大橋全体一般図および地質構成図

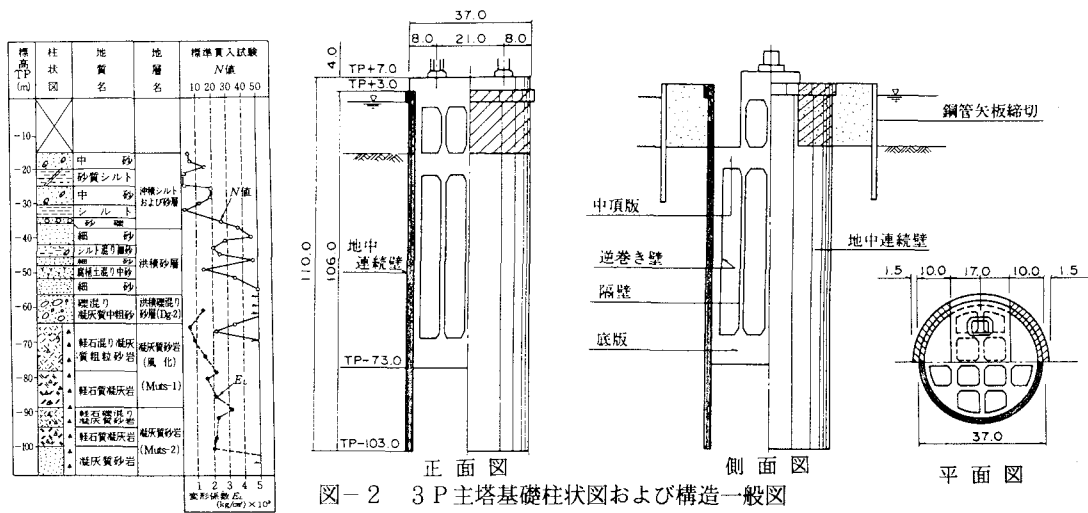


図-2 3P主塔基礎柱状図および構造一般図

2. 地中連続壁の構造および施工手順

3Pに採用する地中連続壁の形状は、図-2に示すとおり、壁厚1.5m、28パネルの多角形のほぼ円筒状で連続壁の最上部には各パネルを連結し水平方向の剛性を高めるため、場所打ちコンクリートのコーピングを設けている。地中連続壁の天端より20mの位置までは地震時の引張力の対応としてジョイントボックスを用い鉄筋による継手構造とし、それ以深は先行エレメントを掘削機で切削し一体化するカッティングジョイントの継手工法を採用している。

地質は図-2に示すように、軟弱な砂とシルトからなる沖積層および洪積層が海底部に約50mほどあり、その下に新第3紀の火山性の凝灰質粗粒砂岩、軽石質凝灰岩の軟岩層で構成されている。支持岩盤は、TP-73mにあって中間層の洪積層には礫径1m以上の巨礫が転在する砂礫層(Dg-2層)が推定され施工時点でも掘削結果に現れている。

地中連続壁を利用して基礎本体を構築する新工法は、まず海上部に築島を設け、その内側に土留・止水壁を兼ねた地中連続壁を円筒状に構築し、その内部をドライで掘削しながら基礎本体の側壁を順次逆巻で打設、この繰り返しで支持岩盤に到達後、基礎底版を施工し、隔壁、頂版等の各部を下から打ち上げ基礎本体を形成するものである。築島位置の水深は約15m、また作業空間を確保するため船舶などの利用も考慮しなければならなかったが、これらの各施工計画と主な結果について以下に述べる。

3. 築島計画

人工島は主塔基礎の本体工事および上部架設工事の海上基地となるもので、この安定は地中連続壁掘削時の溝壁保持にも重要な役目を持つものである。

図-2の地質概要にみるように海底地盤はN値10以下の軟弱なシルト層と砂層で形成されているため、築島工による原地盤の残留沈下の低減、せん断強度の増加を図るためサンドコンパクションパイルによる地盤改良を計画した。そのうえで、人工島の外殻となる鋼管矢板を打設し中詰材として石炭灰スラリーを用いることとした。

(1) サンドコンパクションパイル

サンドコンパクションパイルは、改良後平均N値20を目標とし、また鋼管矢板根入れ部の横抵抗の増加および地盤の均質化を考慮し築島工の鋼管矢板打設前に図-3斜線部に示す円形状の範囲に三連装船で行い、ケーシング径800mm、パイル径1200mm、パイルピッチ2.5mとし置換率18%で施工することとした。サンドコンパクションパイルの管理は、ケーシングの圧入長、引き抜き時のケーシングの動きと同時に砂計量記録によることとした。砂杭の強度確認に試験施工を行なった。その結果、杭間、杭芯のボーリングでは、シルト質層での改良効果は小さいものの、砂層では平均N値30程度でこの改良結果を用いて築島工の安定を検証した。

(2) 鋼管矢板締切

築島の鋼管矢板は、径1000mm、長さ40m、168本で計画し、約2か月で打設を完了している。鋼管矢板の打設は、円周長210mにもなり168本もの鋼管を計画どおり円形に閉合する前例のない締切りのため大規模な鋼管の打込みには十分な精度を必要とした。対策として、鋼製の仮設材をトラス状に組み立て円形の平面リングトラスを設置し、この上に鋼管矢板打設の定規となるガイドリングを設置した。両ガイドは剛結しガイドトラスの剛性によって真円形を保つようにするとともにガイドトラスを支えるH鋼杭の剛性によって定規枠全体の水平移動の防止に効果を期待した。鋼管矢板の打設精度の基準

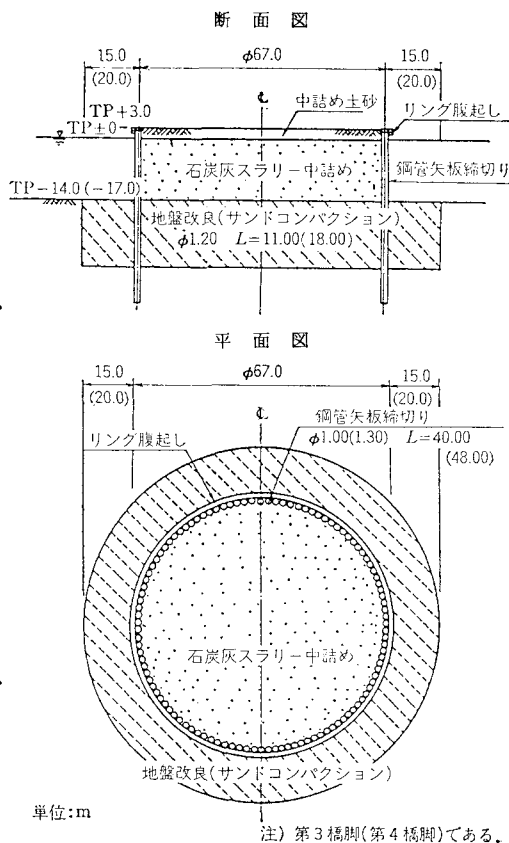


図-3 人工島構造図

を、偏心量±10 cm、傾斜率1/100以下としたが、それぞれ±6～8 cm、1/100以下と基準値以内の結果となった。

(3) 中詰材の選定

一般的に人工島中詰材は陸上土砂か浚渫土砂が用いられるが、軟弱な地層のために生じる滑り破壊、鋼矢板に作用する側圧などが検討の対象となった。砂を中詰材とした場合、鋼管矢板を二重締切りとするか、直径1600mm～2000mmの大口径鋼管矢板が必要となり経済性、施工性にも問題があることから比較的軽量の石炭灰スラリーを採用することとした。両主塔人工島合わせて約10万m³の中詰材への実用化は他に例のないものである。石炭灰は火力発電所での石炭の燃焼時に発生するフライアッシュの一種で、石炭灰スラリーは石炭灰と砂や火山灰を加え水または海水で混合し、セメントなどの硬化材を加え混練りしたものである。

その特性として以下の事項が考えられた。

- ① 石炭灰は自硬性をもち、スラリーの単位体積重量も1.6程度で砂に比較し軽量で、スラリー打設後比較的短期間に硬化するため、鋼管矢板の剛性を小さくでき、滑り、沈下に対しても低減効果大きい。
- ② 流動性に富んでいるため、締切内に平均して充填され中詰完了後の築島の局部沈下等が抑制できる。
- ③ セメントの添加量によりスラリーの圧縮強度を調整することができ、地中連続壁溝壁の安定、築島上での重機械の作業に効果的に対応できる。
- ④ 石炭灰スラリーの混練には海水が利用できるため大規模な混練水の給水設備を必要としない。

石炭灰スラリーのスランプ値、一軸圧縮強度についてはあらかじめ試験工事を試みており、石炭灰と現場近くより入手できる火山灰を絶乾重量で7：3の比率で混合し、それに数%の普通ポルトランドセメントを添加することにした。スランプコーンは上面径5 cm、底面径10 cm、高さ15 cmを用い8 cm～13 cm、一軸圧縮強度は、中詰材としての設計上の強度は $\sigma_{ck}=3.7\text{ kg f/cm}^2$ であるが、水中へのスラリー打設による強度低下、水中打設によって流動して生じる強度低下および化学成分等の変動による強度低下などを考慮して $C=10\text{ kg f/cm}^2$ を配合強度とした。表-1に本工事で用いた石炭灰スラリーの配合表を示す。

表-1 石炭灰スラリーの示方配合

燃焼炉	セメント 添加率	配 合 含 水 比	1 m ³ 当 り 混 合 量 (kg)						石 炭 灰	火 山 灰
			石 炭 灰	火 山 灰	セメント	海 水	真 水	合 計	W=15% (kg)	W=23% (kg)
			Gs=2.32	Gce=3.15	Gw1=1.03	Gw2=1.00				
1号炉	4～5%	50～60%	Gc=2.08~2.21 617~700	265~300	36~44	343~406	153~174	1.481~1.560	710~805	326~369
2号炉	4～5%	35~50%	Gc=2.00~2.43 689~853	295~365	44~61	226~346	171~212	1.550~1.727	792~981	363~449

石炭灰スラリーの品質管理に当たっては、石炭灰の比重、粒度、含水比、スランプ、一軸圧縮強度、密度、ブリージング等に留意した。図-4は鋼管矢板に設置した土圧計により矢板に作用する側圧の経時変化を示したもので、打設初期の発生側圧はほぼ計算値と一致している。スラリーの硬化側圧は鋼管矢板内外の潮位変化にも影響され打設8時間後の降下は潮位の低下により矢板が外側に変位したため、また10～20時間の変化も外海の潮位変化とよく一致しており、スラリーが固化自立し側圧が消失していることが確認される。

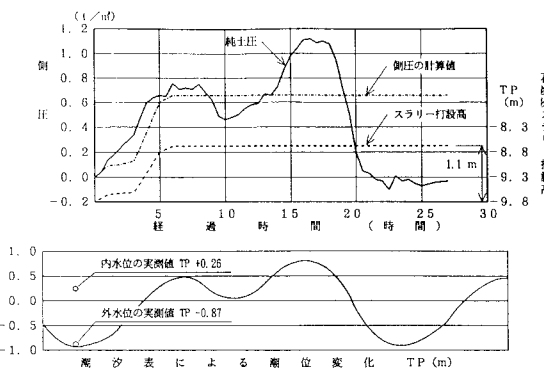


図-4 スラリー打設による矢板の側圧経時変化

(4) 築島規模

地中連続壁施工時の作業規模は、地中連続壁掘削機をはじめ鉄筋籠の仮置き、鉄筋籠の建て起こしクレーン、エレメント継手防護材のスペース、生コンサジッター車の進入等の移動機械作業スペースが地中連続壁の周囲に必要でこれらの作業床面積として、主塔基礎本体構造から求められる地中連続壁の外径3.7mにさらに1.5m加えた直径6.7mの円形規模とし、なおかつ、その移動スペースを侵さない範囲で、固定分離や安定液の供給回収プラント等スペースが最低必要となり鋼製栈台を付帯仮設し各作業の効率化を図れるよう図-5に示す規模とした。築島の高さは、HWLの荒天時越波のないTP+3.0mとした。

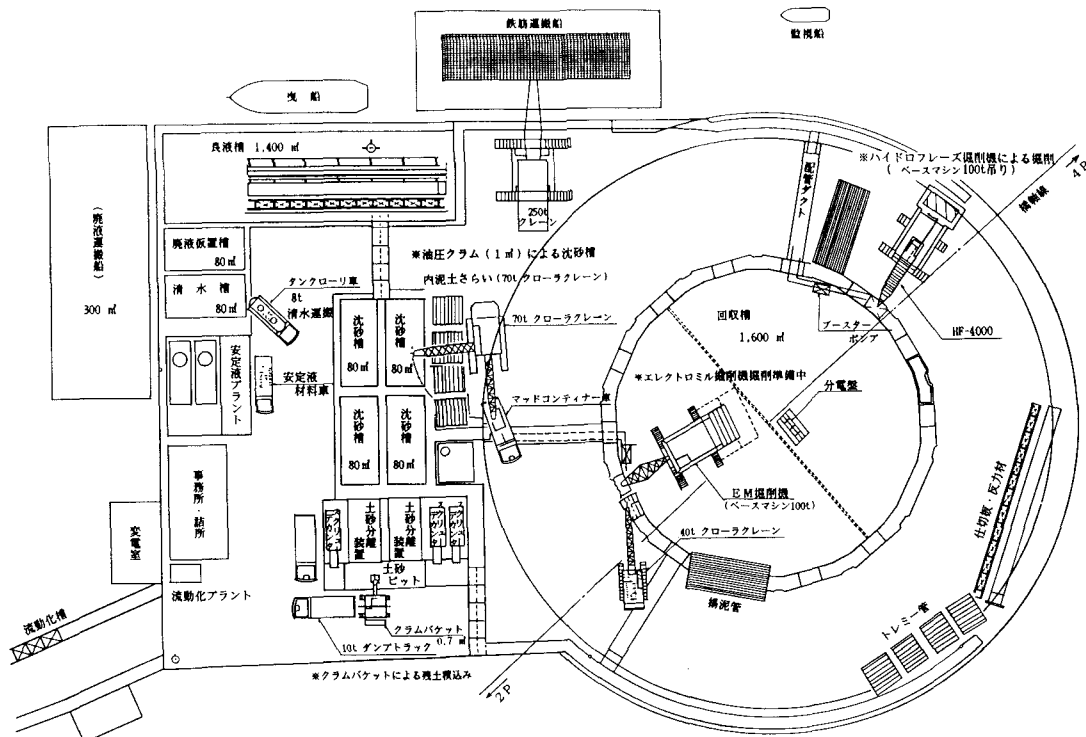


図-5 地中連続壁仮設備等配置図

4. 地中連続壁

地中連続壁の施工計画は、地質調査や施工条件を把握し掘削機種を選定を行い、施工エレメントの割付けやエレメント間継手方法の決定、補助工法の必要性等を勘案の上、プラント主要機械の機種、電力設備および給排水設備等の仮設備を決定することとなる。施工の標準作業フローは図-6に示す。

計画立案に当たっては特に、

- ① TP-6.0m前後のDg-2層の巨礫を含むと想定される地層に適した掘削機種の選定と補助の有無
- ② TP-10.3mに達する溝壁の掘削精度と安定性
- ③ エレメント間の止水性
- ④ 安定液ならびにスライム処理の施工性
- ⑤ 鉄筋籠建て込み、高強度コンクリートの施工性および品質管理
- ⑥ 排液処理を含む海水汚濁、工事騒音や工事車両の交通障害等の環境対策

などについて配慮することとなった。

(1) 掘削施工

地中連続壁の掘削機は、大別してバケット式（懸吊式、ロッド式）と回転式（垂直多軸、水平多軸）がある。本工事は100mを超える大深度であり、土質が一部玉石砂礫層、岩層であること、また、円形とはいいながら多角形状のため壁体相互の形状を正確に保つため相対誤差を±5cm以下としており、さらにエレメントの一部継手がコンクリートカッティングであることから自己姿勢制御が可能な回転式の水平多軸掘削機を選択することとした。

エレメント、掘削ガットの割り付けは、先行、後行それぞれ14エレメント割りとした。掘削機仕様、掘削順序、溝壁安定、鉄筋籠の製作立て込み等の要素を勘案し計画されたものである。

掘削工事は計画に沿い予定通り完了した。水平多軸掘削機はハイドロフレズ掘削機（HF-4000型）とエレクトロミル掘削機（EM-240型）の2台を用いて掘削している。図-7にエレメント割りを示す。

掘削精度の測定は超音波溝壁測定器を用いることとした。掘削精度管理は、土層変化点および一定深度ごとに測定し、その都度修正しながら掘削を進めるようにした。特に、掘削曲りは初期に生じやすく、掘削機の修正装置が溝壁内に入るまでは慎重に施工することとした。

また、Dg-2層ではボーリング調査の結果最大径約2.0m、圧縮強度550~760kgf/cm²程度の転石の存在が予想されその除去方法については衝撃による破碎法とクラブ方式による除去法を検討したが、幸い実際の施工時にはこれを用いることはなかった。

(2) 溝壁の安定

安定液は掘削面にマッドフィルムを作り溝壁の安定を保つとともにコンクリート打設時の置換流体となり、また、掘削中の混入土砂をスラリー輸送して溝底への堆積を防止するものである。溝壁の安定液には、ベントナイト系とポリマー系があるが、海上施工による耐塩性に優れ継手コンクリートカッティングによる混入セメントとの安定液劣化の少ない液種であり、大深度になる打設コンクリートとの良好な置換作用が期待できるものでなければならないことから、高分子ポリマー系安定液とした。

安定液は循環方式でガイドウォール内で常に一定水位となるようにした。掘削土砂は安定液とともに揚泥

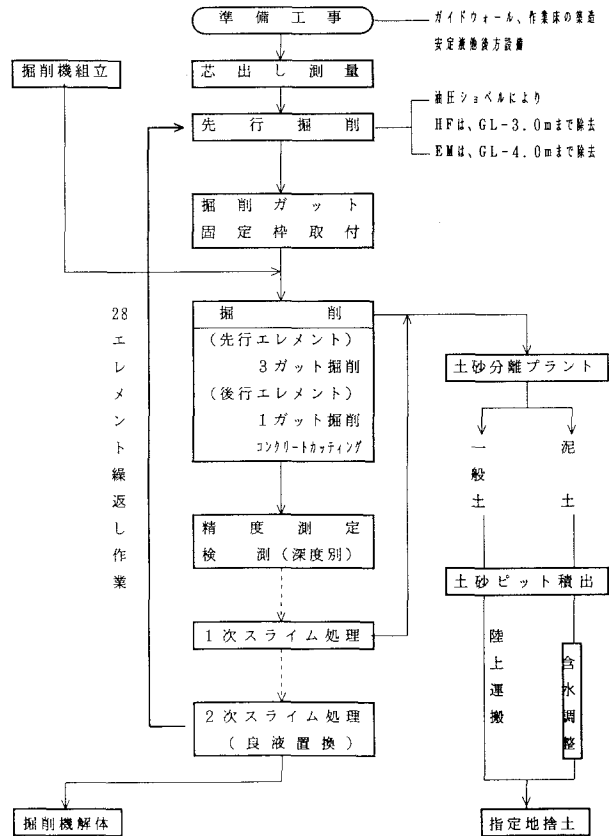


図-6 掘削施工標準フロー

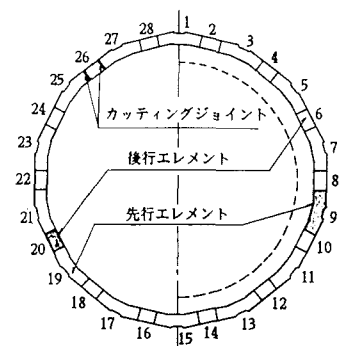


図-7 3P地中連続壁エレメント割り

され、土砂分離装置で安定液と土砂を機械的に除去処理することとした。

劣化した廃液は凝集剤添加後にフィルタープレスにより固液分離し、環境保全上排水基準を満足するようにPHなどを調整後放流することとした。大深度の場合掘削時間が長く、コンクリート打設までの放置期間も長い、長時間による安定液の劣化等で溝壁崩落の確率も高くなりやすく、対象土層が多種となるなど良好な施工管理が求められたので、試験工事結果をふまえ、標準配合を設定し、特に安定液はセメント分に接触するとゲル状になり劣化するなど施工中の泥水の性状変化に応じた配合を適宜行った。

(3) 鉄筋籠施工

地中連続壁に使用する鉄筋は籠型に組み大深度の建て込みとなるため製作精度の確保が重要となる。そのため陸上部の製作ヤードで1エレメント全体を組み立てその後6パネルに分割し、各パネルを海上輸送で運搬することとした。

特に、溝壁接触による肌落ち等のトラブルの生じないよう建て起しおよび吊り込みは250tと70t吊りクレーンの合吊り作業で計画し、建て起しの1パネルの長さは18～23mとし水平から建て起しへの移行時にパネルの曲げ剛性に影響のないよう慎重な施工が求められた。実際の吊り込み施工においても、接触による肌落ち、鉄筋等の損傷もなく良好な結果を得ることができた。

(4) コンクリート配合

地中連続壁で囲まれた内部掘削がTP-73m、連続壁深度がTP-103mと他に例をみない規模であることから、作用する土圧、水圧、偏土圧等の側圧も大きいために地中連続壁に用いるコンクリートも高強度のものが必要となる。解析モデルによると、コンクリートの円周方向圧縮応力度に及ぼす各荷重の内訳は水圧が支配的で、常時、地震時とも6割程度を占めており、また等圧分（水圧、土圧）の合計では常時で9割強、地震時で8割強を占めている。最大値は地中連続壁（基礎本体の逆巻壁を構築しつつ）の内部掘削深さが70m付近で、常時で約170kgf/cm²、地震時で190kgf/cm²となっている。これを通常の設計基準強度240kgf/cm²で対応するとすれば連続壁の厚さ2.4mが必要となり、掘削機械、泥水処理施設等の規模も大きくなる。また、止水・土留壁としての機能を考慮して、コンクリートの設計基準強度としては、常時、地震時とも370kgf/cm²、水中コンクリートとしての配合強度としては470kgf/cm²の高強度コンクリートで対処することとした。高強度のコンクリートとするためには単位セメント量が増加し、水和熱による温度ひび割れの危険性があり、また、地中連続壁の上部にはジョイントボックスの鉛直継ぎ手が設けられているため、流動性に富んだものが望ましく、用いるコンクリートには低発熱型高炉セメントB種とすることとした。表-2に強度仕様、表-3に配合を示す。

また、実施工に先立って断熱上昇温度試験を行った結果、低発熱型セメントは高炉B種や普通ポルトランドセメントに比べ10℃以上発熱が少ないことを確認している。

表-2 地中連続壁コンクリートの強度仕様

設計基準強度 (kgf/cm ²)	呼び強度 (kgf/cm ²)	配合強度 (kgf/cm ²)	泥水中での 強度低減比	割増係数	基準材令 (日)
f _{ck} = 370	f _{st} = 470	f _{cr} = 560	0.8	1.18	91

表-3 地中連続壁コンクリートの配合

G _{max} (mm)	スランブ (cm)		空気量 (%)		W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
	ベース	流動化	ベース	流動化			W	C	S	G	ベース混和剤 (C×%)	流動化剤 (C×%)
25	10 ± 2.5	23 ± 1.5	4.5 ± 1.0	4.5 ± 1.0	34	45	146	429	801	981	1.6	0.7

5. 試験工事

地中連続壁工法については、LNGタンクの基礎あるいはLNG貯蔵タンクそのものに採用されることが多く、橋梁基礎の仮設構造物として、掘削深さがTP-103mにも及ぶ例は初めてのことである。したがって構造的にも種々の特徴や問題点を有する。以下のような設計施工上の問題点を克服することを目的に試験工事を実施し、本工事施工に向けての確認あるいは試験の結果によってはその対策工法の検討を行うこととした。

- ① 地中連続壁の上部20m程度は曲げ引張りが生じるため重ね継手方式となる。また、重ね継手部に用いるジョイントボックス下端部のコンクリート充填性の確認が必要となる。
- ② 地中連続壁の20m以深は全断面圧縮となるのでカッティング継手方式となる。また、カッティング継手の施工能率、止水性、安定液の劣化等不明な点がある。
- ③ 高強度の流動化水中コンクリートを使用する。また、その施工性、品質の確認が必要となる。
- ④ 掘削地盤の中間付近に礫層があり、硬い転石の存在が予想される。

試験工事は、施工地点近傍の陸上部で同種地盤を対象とした。工事の計器、規模範囲は表-4、図-8に示す。平面形状は実物大とし3エレメントでジョイントボックスを取り付け、深度GL-30mまで掘削実施した。試験工事の調査、試験項目、目的、本工事への対応を表-5・6に示すとともに、主な事項について以下のような結果が得られた。

1) 溝壁の精度

掘削の出来形は転石層部分でやや乱れが確認されるが、他は良好な結果を得た。精度は設計掘削線から最大で4cmの食い込みがみられるが相対誤差5cm以下の設計要求を満足するものであった。

2) 安定液

カッティングの影響によりマッドフィルムの溝壁への造壁劣化が確認され分散剤の添加が必要であった。

3) コンクリート工

コンクリート打設中の流動性は、材料分離も先端の不陸もなく施工性も良好で、コンクリート圧縮強度は91日強度で標準供試体52本で約600kgf/cm²、地中連続壁抜き取りコア8本で450kgf/cm²であった。

4) カッティング

先行エレメントのカッティングを、確実に行うことができ良質なコンクリート面の露出ができた。

5) スライム処理

スライムの一次さらい後、コンクリート打設までの間、泥水中の砂分の沈降が確認されたため、計画どおり全良液置換方法を取ることにした。

6) 止水性

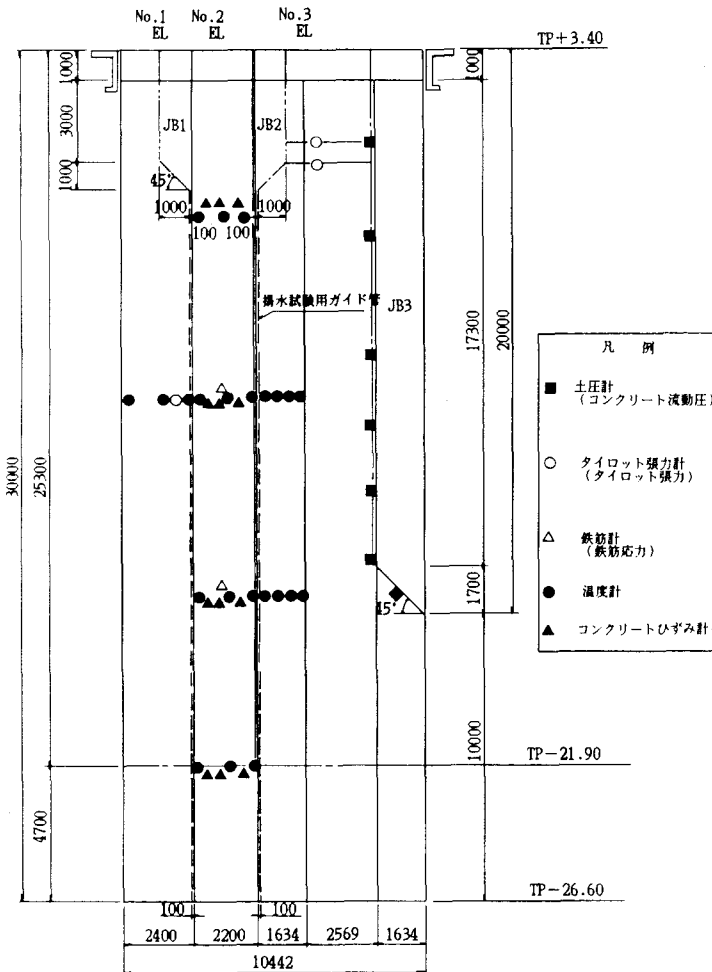
透水試験の結果、カッティングジョイントの透水係数はおおよそ6.0~1.1×10⁻⁵cm²/secで、LNGタンク等からの実績から施工的に問題とならないことを確認した。

表-4 計測項目および計器点数

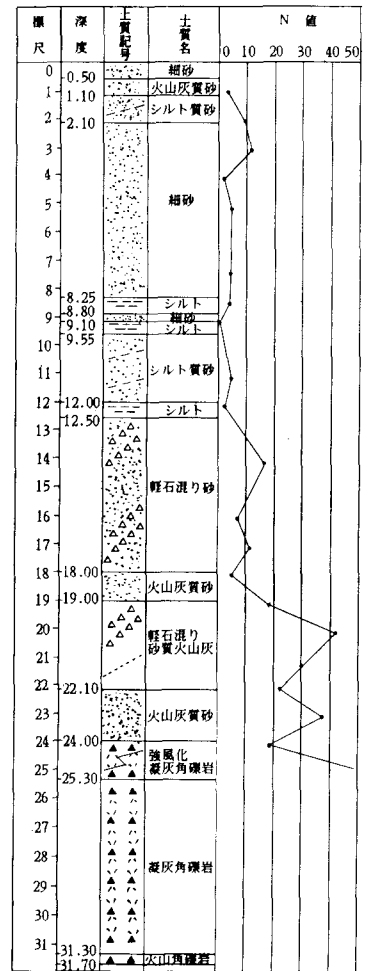
計 測 目 的	計 測 項 目	計 器 名 称	計 器 台 数			
			①ガット	②③④ガット	⑤ガット	合 計
コンクリート打設に伴う仕切板(JB3)への波動圧およびタイロッド張力の把握	コンクリート流動圧	土 圧 計	-	9	-	9
	タイロッド張力	タイロッド張力計	-	4	-	4
コンクリート硬化時の水和熱分布とそれに伴う温度応力の把握	コンクリート温度	温 度 計	4	8	28	40
	コンクリートひずみ	コンクリートひずみ計	-	-	28	28
	鉄 筋 応 力	鉄 筋 計	-	-	4	4
ジョイント部止水性の確認	揚 水 試 験	水 位 計	-	-	1	1
標準供試体のコンクリート強度の確認	圧縮強度試験 引張強度試験	$\sigma_c, \sigma_{t1}, \sigma_{t2}, \sigma_{t3}, \sigma_{t4}, \sigma_{t5}, \sigma_{t6}$	圧縮15本 引張15本 供試体は40本採取する			
実供試体のコンクリート強度の確認	圧縮強度試験 引張強度試験	σ_{c1} 4 深 度			圧 縮 引 張	コア採取

図一 8 試験工事概要図

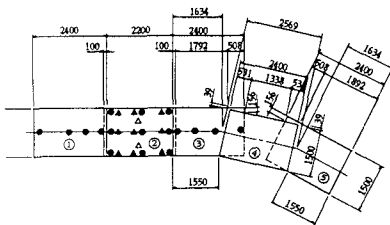
【断面配置図】



【土質柱状図】



【平面配置図】



【継手構造イメージ図】

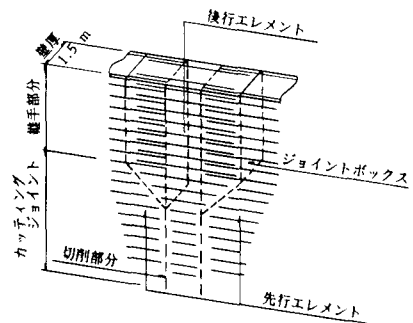


表-5 調査試験項目および本工事対応(1)

試験名	試験項目	試験目的	試験内容	試験工事結果	本工事対応
施工性試験	掘削能率の測定	掘削能率の確認	1. 土砂(A s, D s)の掘削速度及び能率測定 2. 各土層のカッターフェイス摩耗度の測定 3. 各処理設備から発生する掘削土量の測定	1. 先行の土砂は3.5m ³ /h～4.2m ³ /hと一般能率と同等である。 後行はその0.4～0.7程度 2. ティス摩耗度は、先行0.8本/m ³ ～後行2.3本/m ³ 3. 掘削土容量は2割増し、特に沈砂効率が高く全体の1/4	1. 本工事積算工程の参考 2. 沈砂槽容量の見直し及び土砂分選スクリーンの増床等機械設備の見直し
	掘削精度の測定	掘削精度の確認	1. 掘削精度の測定(鉛直性、ねじれ、壁面の出来形) 2. 溝壁修正方法の確認	1. 精度は1/1000～1/5000の範囲で平均1/2800 2. 測定チャートから、各断面出来形の確認 3. 曲げた溝壁を修正掘削で確認	1. 問題なし
	安定液性質および使用量の調査	安定液配合および仕様確認	1. 安定液材料の配合仕様の決定 2. 安定液の性質調査(造粘性、比重、粘度、砂分率) 3. 造液量の測定 4. 安定液使用量の測定 5. 分散材投入量の確認	1. 一般配合の上限で掘削中、管理基準値が維持されたが、砂分率による成分消耗が激しい 2. 液の性質調査は、先行より後行において劣る傾向がみられた。砂分率は良液置換により低下できる 3. 造液量は混練量の12%である 4. 使用量は転用率0.75日であるが、安定液収支からロス38%と高めである	1. 本工事積算工程の参考 2. 砂槽部の消耗多い 3. コンクリートカッターの場合の安定液劣化対応の確認
	スライム処理	スライム処理管理手法の確立	1. スライム沈降量の測定 2. 良液置換後のスライム沈降量の測定	1. 安定液循環停止時のスライム沈降量は、5cm/hである 2. 1度堆積したスライムをトレミー循環で除去できるのは、その周辺のみであった 3. 1次さらいの後の良液全量置換ではスライム沈降なし	1. 大深度で鉄筋電建込みからコンクリート打設迄の間スライム処理対応のため良液置換の必要確認
	コンクリートカッターの施工性	カッターの能率精度の測定	1. コンクリート切削能率の測定 2. コンクリート切削精度の測定	1. 施工性は確認され、カッターによる能率の低下は平均0.55程度 2. コンクリート強度(温度履歴による推定)σ ₂₈ =600kgf/cm ² で確認、隣接エレメントにおける強度差は精度の影響少ない	1. カッターティス消耗がはげしいが他は問題なし
試験	ジョイントボックスの施工性	ジョイントボックスの施工精度の調査	1. ジョイントボックス製作精度の調査 2. ジョイントボックス建込み精度の調査 3. 反力材、仕切板の建込み精度の調査 4. 反力材、仕切板の引抜き調査	1. ジョイントボックスの施工は、基本案で施工可能 2. ボックスの建込み精度は1/2000 3. ジョイントボックスと仕切板、取合寸法の見直し必要 柔構造のため連続取合時のボックスの変形	1. 製作精度を運搬、仮置時に保持できる設備必要 2. 変形防止の工夫
	コンクリートの施工性	高強度コンクリートの施工性	1. 高強度コンクリートのトレミー工法の施工性調査 2. ジョイントボックス傾斜部トレミー保護構造の確認 3. 高強度コンクリート打設時の流動圧経時変化の測定(計測工)	1. 当配合ではスランプエアのロスから現着ベース管理が困難で見直した 2. 高強度コンクリートはトレミー工法で問題ない(現場後添加流動化)	1. コンクリート配合の研究(混和剤の選定) 2. 現場流動化法確立

表-6 調査試験項目および本工事対応 (2)

試験名	試験項目	試験目的	試験内容	試験工事結果	本工事対応
止水性試験	透水量の測定	ジョイント部止水性の確認	1. コンクリートカッティング部透水試験 2. 観察立抗からの目視検査 3. コアボーリング資料による観察	1. ジョイントボックスの止水部の透水量係数 $Kd = 2 \times 10^{-7} (\text{cm}^3/\text{sec})$ 2. コンクリートカッティング部の透水量係数 $Kd = 6.0 \sim 1.1 \times 10^{-7} (\text{cm}^3/\text{sec})$	1. 止水性は良好 2. コンクリートカッティング問題なし
品質調査	コンクリートの品質	高強度コンクリートの品質調査	1. コアボーリングによる強度試験調査 2. ジョイントボックス部の品質調査 3. 観察立抗からの目視検査 4. 後行エレメントコンクリート硬化時拘束力の調査 (計測によるマスコン温度経時変化、強度履歴調査) 5. コンクリートの流動性調査	1. コンクリートの所定強度が満足されている 標準供試体 $\sigma_{91} = 600 \text{ kgf/cm}^2$ 抜取りコア $\sigma_{91} = 430 \text{ kgf/cm}^2$ 2. コンクリートの充填は問題ない 3. ボックス補強棒材のL部にスライムの差し込みがある	1. 品質は問題ない。特に深度による強度差が少ない 2. スライムを差し込みやすい鋼材形の排除
廃液処理調査	排水基準適合調査	廃液処理管理基準の確立	1. 処理水の性情調査 (ss, PH, COD等) 2. 廃液処理性能率、時間の測定	1. 試験工事でエレメントが少なく、廃液になる前に処理していることから、データ値値に疑問は残るが、既往の設備で規定の処理排水基準は満足できる	1. 問題なし
確認試験	転石破碎の施工性 観測立孔からの壁体目視調査	転石破碎掘削の確認 壁体状況の目視確認	1. 水平多軸掘削機による、投入転石の切削能率調査 2. 衝撃破碎掘削機 (CIS-58) による投入転石の切削能率調査 1. 壁面マッドケーク厚の調査 2. コンクリート壁面、継手部の止水性の確認 3. ジョイントボックス内各部のコンクリート充填状況の確認と、スライム巻込み有無の調査 (壁体コンクリート研り調査) 4. コンクリート回り込み防止材の効用状況の確認	1. 水平多軸機による転石切削は、能率が極端に低下するが可 2. 移動転石のコンクリート根固めによる切削可 3. 衝撃破碎掘削機は対応可 1. コンクリートは良く填充していた (ボックス内も研りチェック) 2. ジョイントボックススキュー部のコンクリート回り込み防止シート形状に不具合が見られた 3. エレメント境界部の目視は、スライムの狭いや水漏れもなく良好に密着している	1. 転石に一応の解決。但しカッターディーズの損耗は多い 1. コンクリート回り込み防止シート部の改善
計測試験	計測工事	ジョイントボックスの設計資料の調査	1. ジョイントボックスに対するコンクリート流動圧の測定 2. タイロッド張力の測定 3. コンクリート温度応力の測定	1. コンクリート流動圧はボックス下端で最大13.4t/m ² であった。コンクリート流動圧が三角形分布となるのは、コンクリート天端から10m程度で、それ以降は直線分布で10.9t/m ² である 2. タイロッド荷重は1t未満である 3. コンクリートの温度応力は4測点中2点で引張り強度を上回る応力変動が見られ、後行は先行エレメントの拘束を受けひび割れ発生の可能性が高い	1. 本体ボックス設計資料 2. コンクリート打設管理 (打上り速度) 3. 低発熱高収セメントでもひびわれ抑制は難しいので本工事では計測管理により予測管理必要

6. まとめ

大深度地中連続壁を主塔基礎建設の仮設構造物と決定したのは1986年で、当時は地中連続壁はLNG地下タンクか原油貯蔵地下タンクに数例あるだけで、本工法の橋梁基礎への採用は例のないものであった。

従って、設計においても荷重条件等から全て独自の仮定のもとで行われた。施工については上記数例の実績はあるものの設計同様橋梁では例のない試みから施工についても本論文に述べてきた計画を取り入れ実施施工されてきたものである。

工事は1987年に築島工に着手しており、施工は計画に沿い順調に進捗し地中連続壁の構築は1989年1月に開始され同年の11月30日に終了し、翌年6月に地中連続壁内部の掘削が行われ1991年3月に支持地盤に到達した。この完成により当初不確定要素も含め、試験工事結果等から検討をした施工計画の実証ができたものとするものである。すなわち、

- 1) 不確定要素から諸仮定により検討した施工計画および試験事項の実証が確認された。
- 2) 100mを超えかつ複雑な地層でも溝壁の精度を高く保持し掘削が確実に行える。
- 3) 築島中詰材として軽量、自硬性、強度選択等、石炭灰スラリーの有効性が評価出来た。
- 4) 掘削深が大となった場合でも溝壁安定液の管理が可能である。
- 5) 水中コンクリートの強度ならびに施工性も添加材等の対応により良好状態が得られる。
- 6) カuttingジョイントによる各パネルの止水性も確実に保てる。
- 7) 橋梁基礎の仮設構造としての可能性が実証でき、今後の橋梁基礎構造として採用の可能性が拡大。

といった結論を得た。

また、地中連続壁を主塔基礎本体の仮設構造として実証されたものの、TP-103mもの深部に至る構造物としての、周辺土圧、水圧、基礎本体との連動、上部構造物との関連等から静的、動的、特に地震時における挙動解析等に検討課題が残されている。地中連続壁および主塔基礎に各目的に応じ測定機器を配置して観測を行っており、すでに一部その報告も発表されている¹²⁾ところであり今後の研究が期待されるものである。

参考文献

- 1) 白鳥大橋下部構造に関する技術検討委員会報告書：北海道開発局室蘭開発建設部，社団法人土木学会北海道支部，1986. 3
- 2) 熊谷勝弘，石原 勝：白鳥大橋ができるまで，土と基礎，34-9，1986
- 3) 石原 勝，熊谷勝弘，佐藤謙二：白鳥大橋の主塔基礎—地中連続壁併用逆巻剛体基礎—，基礎工，1988. 1
- 4) 安保良一，佐藤謙二，渋谷 元，沢口二郎，別宮邦紀，片倉浩司：白鳥大橋築島中詰材の試験工事について，第30回北海道開発局技術研究発表会講演要集，1986. 2
- 5) 別宮邦紀，佐藤謙二，田口史雄，大沼秀次，安保良一：白鳥下部工の設計について—築島工の設計と施工—，第31回北海道開発局技術研究発表会講演要集，1987. 2
- 6) 後藤祐之，三浦 智，渡辺 勲：白鳥大橋主塔基礎について—石炭灰スラリー築島中詰工事—，第32回北海道開発局技術研究発表会講演要集，1988. 2
- 7) 野坂隆一，田口史雄，三浦 智：白鳥大橋主塔基礎—石炭灰スラリー築島中詰工について—，第18回日本道路会議論文集，1989. 10
- 8) 野坂隆一，石原 勝，佐藤謙二，田口史雄：白鳥大橋の主塔基礎に利用した地中連続壁，基礎工，1989. 1
- 9) 野坂隆一，川崎博巳，高橋守人，田口史雄：白鳥大橋主塔基礎における地中連続壁，基礎工，1989. 10
- 10) 白鳥大橋下部構造に関する技術検討委員会報告書：北海道開発局室蘭開発建設部，社団法人土木学会北海道支部，1987. 3
- 11) 白鳥大橋施工法検討委員会 とりまとめ：北海道開発局室蘭開発建設部，社団法人土木学会北海道支部，1991. 3
- 12) 竹田俊明，坂場武彦，安部晋憲：白鳥大橋主塔基礎における大深度地中連続壁の動態計測と設計値との対比，構造工学論文集，Vol. 38A，1992

(1992年9月21日受付)